



PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **2003139611 A**(43) Date of publication of application: **14.05.03**

(51) Int. Cl. **G01J 3/18**
G01J 3/14
G01J 3/20
G01J 3/36
G02B 3/06
G02B 5/04
G02B 5/18
// H01L 31/10

(21) Application number: **2001340309**(22) Date of filing: **06.11.01**(71) Applicant: **OLYMPUS OPTICAL CO LTD**

(72) Inventor: **SHIMIZU ETSURO**
KOJIMA KAZUAKI

(54) **SPECTROPHOTOMETER**

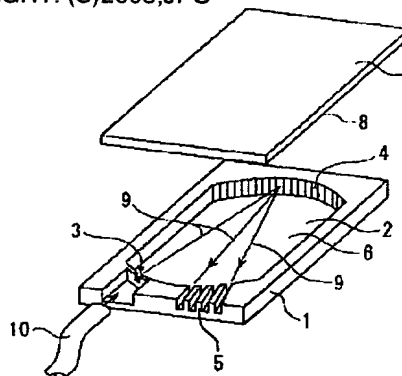
spectrophotometer.

(57) Abstract:

COPYRIGHT: (C)2003,JPO

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a spectrophotometer of high accuracy and high reliability not requiring the positional adjustment between optical parts or the like and an adjusting mechanism, capable of being miniaturized simply and capable of being manufactured as one chip by utilizing a semiconductor technique.

SOLUTION: The spectrophotometer is equipped with a light waveguide 2 formed by removing an Si substrate 1 by etching, the light incident slit 3 formed to the stepped end surface of the Si substrate of the light waveguide, the diffraction lattice 4 formed to the end surface of the light waveguide opposed to the light incident slit and the photodiode array 5 formed on the end surface side of the light waveguide to which the light incident slit is formed so that a part of the Si substrate becomes a light detection part. The light incident slit, the center of the diffraction lattice and the light detection surfaces of the individual photodiodes constituting the photodiode array are arranged on a Rowland circle to constitute the



- 1: Si 基板
- 2: 光導波路
- 3: 光入射スリット
- 4: 回折格子
- 5: フォトダイオードアレイ
- 6: 光導波路底面
- 7: 封止基板
- 8: 反射膜
- 9: 入射光
- 10: 光ファイバー

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2003-139611

(P2003-139611A)

(43) 公開日 平成15年5月14日 (2003.5.14)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テームコード* (参考)
G 0 1 J	3/18	G 0 1 J	2 G 0 2 0
	3/14		2 H 0 4 2
	3/20		2 H 0 4 9
	3/36		5 F 0 4 9
G 0 2 B	3/06	G 0 2 B	3/06

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 10 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2001-340309(P2001-340309)

(22) 出願日 平成13年11月6日 (2001.11.6)

特許法第30条第1項適用申請有り 2001年5月10日～11日 (社) 日本分光学会開催の「平成13年度春季講演会 各研究部会シンポジウム」において文書をもって発表

(71) 出願人 000000376

オリンパス光学工業株式会社
東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号

(72) 発明者 清水 悦朗

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリ
ンパス光学工業株式会社内

(72) 発明者 小島 一哲

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリ
ンパス光学工業株式会社内

(74) 代理人 100087273

弁理士 最上 健治

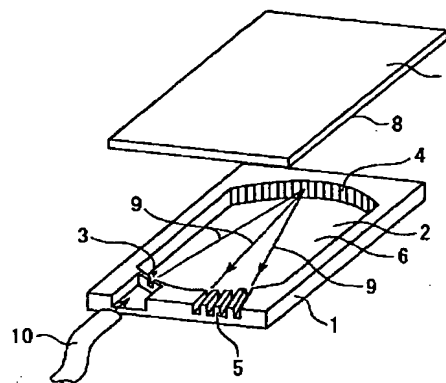
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 分光光度計

(57) 【要約】

【課題】 光学部品間などの位置調整及び調整機構が不要で簡単に小型化が可能であると共に、半導体技術を利用して1チップとしての製造を可能とした、高精度並びに高信頼性の分光光度計を提供する。

【解決手段】 Si 基板1をエッチング除去して形成された光導波路2と、光導波路のSi 基板の段差端面部に形成された光入射スリット3と、光入射スリットと対向する光導波路の端面部に形成した回折格子4と、光入射スリットが形成された光導波路の端面側に、Si 基板の一部が受光部となるように形成されたフォトダイオードアレイ5とを備え、光入射スリットと回折格子の中心とフォトダイオードアレイを構成する個々のフォトダイオードの受光面を、ローランド円上に配置して分光光度計を構成する。



- 1: Si 基板
- 2: 光導波路
- 3: 光入射スリット
- 4: 回折格子
- 5: フォトダイオードアレイ
- 6: 光導波路底面
- 7: 封止基板
- 8: 反射膜
- 9: 入射光
- 10: 光ファイバー

【特許請求の範囲】

【請求項1】 光導波路と、該光導波路内側の端面に設けられ該光導波路内に入射光を入射させるための光入射スリットと、前記光導波路内側の端面もしくは前記光導波路内に設けられ該光導波路内に入射された入射光を分光するための光学素子と、前記光導波路内側の端面に設けられ前記光学素子で分光された入射光を検出するための光電変換素子とを少なくとも備えていることを特徴とする分光光度計。

【請求項2】 前記光学素子は、前記光導波路内側の端面に設けられた回折格子であり、該回折格子と前記光入射スリットと前記光電変換素子とが同一の円上に配置されていることを特徴とする請求項1に係る分光光度計。

【請求項3】 前記光学素子は、前記光導波路内に設けられた光学レンズ、プリズム及び前記光導波路内側の端面に設けられたミラーであることを特徴とする請求項1に係る分光光度計。

【請求項4】 前記光導波路は、空間を反射部材で挟んだ構造であることを特徴とする請求項1～3のいずれか1項に係る分光光度計。

【請求項5】 前記光電変換素子は、フォトダイオードアレイであることを特徴とする請求項1～4のいずれか1項に係る分光光度計。

【請求項6】 前記フォトダイオードアレイは、第1導電型の高濃度基板と、該基板上に形成された低濃度の第1導電型のエピタキシャル層と、該エピタキシャル層内に形成された高濃度の第2導電型の拡散層とからなり、前記第1導電型のエピタキシャル層の側面を受光面とすることを特徴とする請求項5に係る分光光度計。

【請求項7】 前記フォトダイオードアレイは、第1導電型の高濃度基板と、該基板上に形成された該基板より高濃度の第1導電型の埋め込み層と、該埋め込み層上に形成された低濃度の第1導電型のエピタキシャル層と、該エピタキシャル層内に形成された高濃度の第2導電型の拡散層とからなり、前記第1導電型のエピタキシャル層の側面を受光面とすることを特徴とする請求項5に係る分光光度計。

【請求項8】 前記フォトダイオードアレイは、前記第2導電型の拡散層を前記第1導電型のエピタキシャル層の前記受光面側まで延長形成すると共に、該延長形成された第2導電型の拡散層表面に反射防止膜を形成していることを特徴とする請求項6又は7に係る分光光度計。

【請求項9】 前記光導波路、前記光入射スリット、前記光学素子及び前記光電変換素子は、一体的に形成されていることを特徴とする請求項1～8のいずれか1項に係る分光光度計。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、生化学分析装置などに用いられる分光光度計、特には1チップ化した分

光光度計に関する。

【0002】

【従来の技術】図13に、生化学分析装置に用いられる従来の分光光度計の概略構成を示す。図13において、光学系が配置される基板101上に、光源102、レンズ103、試料用キュベット104、レンズ105、スリット106、回折格子107、該回折格子107で分光された所望の波長の光を受けるためのフォトダイオード108が配列されたフォトダイオード群109、この各フォトダイオード108の信号を増幅するためのアンプ110が配列されたアンプ群111、及び各アンプ110からの信号を電氣的に演算するための信号処理IC112を配置して、分光光度計が構成されている。そして、試料用キュベット104中には、血液等の試料が満たされている。

【0003】このような構成の分光光度計における試料の分析メカニズムは、以下ようになる。光源102より出射された光113は、レンズ103を介して試料キュベット104に照射され、試料の透過物性に応じた光スペクトルをもつ。試料を透過した光は、この後、レンズ105で色収差等の光学的補正がなされ、スリット106を通して回折格子107に照射される。回折格子107は、照射光を分光・反射し、焦点位置114の線上に波長列をなして集光する。各フォトダイオード108は、この焦点位置114上において、各々所望の波長位置に受光部が配置されるように位置決めされ、各々所望の波長の単色光の受光量に比例した電流を出力する。各アンプ110は、各フォトダイオード108に1対1に対応して設けられ、各フォトダイオード108から出力される電流を増幅して出力する。信号処理IC112は、各アンプ110からの出力をLOG圧縮、A/D変換等を行って、生化学分析装置として必要な情報に加工する。ここで、使用されるフォトダイオードは、ラインセンサあるいは単体フォトダイオードをアレイ上に配列したフォトダイオードアレイが一般的である。また、一般的にはスリット106で点光源となるように、光源102が設計される。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】ところで、従来の上記構成の分光光度計には、次のような問題点がある。まず、通常の分光光度計の設計には、ローランドの円と呼ばれる設計ルールが使用される。すなわち、ローランドの円上に、光入射光つまりスリット、回折格子及びフォトダイオードが配置されていることが理想とされ、このときにはローランドの円上にスペクトル像が現れ、フォトダイオードにより最適な分光した光量が検出できるといものである。しかしながら、従来の分光光度計では、スリット、回折格子及びフォトダイオードをローランドの円上に配置するのは難しいし、たとえ配置できるとしても、各光学部品の位置調整が非常に難しくなる。したがって、測定精度も十分ではない。

【0005】また、回折格子のピッチであるブレース間

隔が小さければ、回折格子にて反射・分光されるスペクトル像の反射角つまり分散角は大きくなり、そして分光光度計での光学部品間の位置ずれに対しては分散角が大きいほど有利となる。すなわち、回折格子のブレース間隔を小さくして分散角を大きくすることが、分光光度計の縮小に対して大切な要素であるが、現在一般的に使用される回折格子のブレース間隔は $2\sim 3\mu\text{m}$ であり、このブレース間隔を $1/2$ にすることすら現状の技術では難しい。更に、分光光度計の大きさが $1/2$ になれば、ローランドの円の曲率半径も $1/2$ となり、光学部品を含めて分光光度計の位置合わせには、2倍の精度が必要となる。したがって、分光光度計の小型化には、他の手段で位置精度を確保することが必要となる。

【0006】以上説明したように、従来の分光光度計では測定精度が十分ではなく、更に小型化しようとする、部品間の位置調整に多大な時間を費やすと共に、位置合わせ精度も非常に厳しく、小型化には困難が伴っていた。

【0007】本発明は、従来の分光光度計における上記問題点を解消するためになされたもので、光学部品間などの位置調整及び調整機構が不要で簡単に小型化が可能であると共に、半導体技術を利用して1チップとしての製造を可能とし、更に測定精度の良い信頼性のある分光光度計を提供することを目的とする。

【0008】各請求項毎の目的を述べると、請求項1に係る発明は、位置調整が不要で簡単に小型化が可能であると共に、測定精度の良い信頼性のある分光光度計を提供することを目的とする。請求項2に係る発明は、最適な光学素子とその配置構成を備え、更なる測定精度の向上を図る分光光度計を提供することを目的とする。請求項3に係る発明は、他の最適な光学素子の構成を提供することを目的とする。請求項4に係る発明は、最適且つ具体的な光導波路の構成を提供することを目的とする。請求項5～8に係る発明は、最適且つ具体的な光電変換素子の構成を提供することを目的とする。請求項9に係る発明は、半導体技術を用いて1チップ化が可能な高信頼性の分光光度計を提供することを目的とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するため、請求項1に係る発明は、光導波路と、該光導波路内側の端面に設けられ該光導波路内に入射光を入射させるための光入射スリットと、前記光導波路内側の端面もしくは前記光導波路内に設けられ該光導波路内に入射された入射光を分光するための光学素子と、前記光導波路内側の端面に設けられ前記光学素子で分光された入射光を検出するための光電変換素子とを少なくとも備えて分光光度計を構成するものである。

【0010】このように構成することにより、光入射スリットから光電変換素子までが光導波路内に配置構成されるため、入射光の利用効率が向上すると共に小型化も

可能となり、更に小型化しても光電変換素子からの出力が損なわれることなく、信頼性のある測定が可能な分光光度計を実現することができる。

【0011】請求項2に係る発明は、請求項1に係る分光光度計において、前記光学素子は、前記光導波路内側の端面に設けられた回折格子であり、該回折格子と前記光入射スリットと前記光電変換素子とが同一の円上に配置されていることを特徴とするものである。このような構成により、回折格子と光入射スリットと光電変換素子とがローランドの円上に配置することができるため、スペクトル像が結像しやすくなり、測定精度の更なる向上が期待できる。

【0012】請求項3に係る発明は、請求項1に係る分光光度計において、前記光学素子は、前記光導波路内に設けられた光学レンズ、プリズム及び前記光導波路内側の端面に設けられたミラーで構成することを特徴とするものである。このような構成により、各種複数の素子を組み合わせて光学素子を配置構成することができるので、色収差を小さくするなど、光学特性を向上させた分光光度計を実現することができる。

【0013】請求項4に係る発明は、請求項1～3のいずれか1項に係る分光光度計において、前記光導波路は、空間を反射部材で挟んだ構造であることを特徴とするものである。このような構造とすることにより、光導波路内で光が吸収されることがなく光の利用効率が向上するため、高感度、特に短波長側での感度が高い分光光度計を実現することができる。

【0014】請求項5に係る発明は、請求項1～4のいずれか1項に係る分光光度計において、前記光電変換素子は、フォトダイオードアレイとするものである。また、請求項6に係る発明は、請求項5に係る分光光度計において、前記フォトダイオードアレイは、第1導電型の高濃度基板と、該基板上に形成された低濃度の第1導電型のエピタキシャル層と、該エピタキシャル層内に形成された高濃度の第2導電型の拡散層とからなり、前記第1導電型のエピタキシャル層の側面を受光面とするものである。また請求項7に係る発明は、請求項5に係る分光光度計において、前記フォトダイオードアレイは、第1導電型の高濃度基板と、該基板上に形成された基板より高濃度の第1導電型の埋め込み層と、該埋め込み層上に形成された低濃度の第1導電型のエピタキシャル層と、該エピタキシャル層内に形成された高濃度の第2導電型の拡散層とからなり、前記第1導電型のエピタキシャル層の側面を受光面とするものである。また請求項8に係る発明は、請求項6又は7に係る分光光度計において、前記フォトダイオードアレイは、前記第2導電型の拡散層を前記第1導電型のエピタキシャル層の前記受光面側まで延長形成すると共に、該延長形成された第2導電型の拡散層表面に反射防止膜を形成していることを特徴とするものである。

【0015】以上のように、光電変換素子としてフォトダイオードアレイを用いることにより、構造及び製造方法が簡単な上に波長分解能が向上し、高感度で精度の良い測定が可能な分光光度計を実現することができる。

【0016】請求項9に係る発明は、請求項1～8のいずれか1項に係る分光光度計において、前記光導波路、前記光入射スリット、前記光学素子及び前記光電変換素子は、一体的に形成されていることを特徴とするものである。このように、光導波路、光入射スリット、光学素子及び光電変換素子を一体的に形成することにより、半導体技術を用いて1チップ化が可能となり、製造方法が容易であると共に、光学部品間の位置ずれがないので測定精度が高く、且つ光学部品間の位置調整が不要となるため位置調整の手間がかからない安価で、小型化が可能で、更に信頼性のある分光光度計を実現することができる。

【0017】

【発明の実施の形態】（第1の実施の形態）次に、本発明に係る実施の形態について説明する。まず、第1の実施の形態について説明する。図1は、本発明に係る分光光度計の第1の実施の形態を示す分解斜視図である。図1において、1はSi基板、2はSi基板1をエッチング除去して形成された光導波路、3は光導波路2のSi基板1の段差端面部に形成された光入射スリット、4は光入射スリット3と対向する光導波路2の端面部に形成された光学素子としての回折格子、5は光入射スリット3が形成された光導波路2の端面側に、Si基板1の一部が受光部となるように形成された光電変換素子としてのフォトダイオードアレイである。ここで、光入射スリット3、回折格子4の中心及びフォトダイオードアレイ5を構成する個々のフォトダイオードの受光面は、ローランドの円上に配置されるように形成されている。

【0018】また、光導波路2の底面6には、AlあるいはAuなどの金属による反射膜がコーティングされている。更に、回折格子4の表面にもAlあるいはAuなどの金属による反射膜が薄くコーティングされている。7は光導波路2を封止するための基板であり、光導波路側となる面上にはAlあるいはAuなどの金属による反射膜8がコーティングされており、そしてSi基板1と密着され、光導波路2を封止して分光光度計を構成するようになっている。

【0019】このように構成された分光光度計においては、光入射スリット3より入射された光は矢印9で示すように、回折格子4で反射・分光され、フォトダイオードアレイ5に入射し、フォトダイオードから得られた信号は、外部に設けられたアンプ及び信号処理回路などにより信号処理される。なお、光入射スリット3へは、光ファイバー10により光が入射されるようになっている。

【0020】ここで、光導波路2は空間を反射部材で挟んだ構造、すなわち金属反射膜—空気—金属反射膜とい

う構造となっているため、光導波路内つまり空気での光の吸収、特に短波長光が吸収されることはないと共に、金属反射膜により光が反射されて光の利用効率が向上し、短波長側にも高感度を有することが可能となる。また、光学素子としての回折格子4を用いているため、ローランドの円上に配置した光入射スリット3によりスペクトル像が結像しやすくなり、測定精度が更に向上する。

【0021】次に、光入射部について説明する。図2に、光入射部の拡大図を示す。図2に示すように、光入射部は、Si基板1に光入射スリット3と光ファイバー10の挿入部11を形成して構成されている。光入射スリット3の深さ3a（矢印で図示）は、光導波路2のエッチング深さと同じである。光ファイバー10の挿入部11は、この挿入部分に挿入した光ファイバー10のコアの部分

が、光入射スリット3と同じ位置にくるように、光ファイバー径の半分の深さにSi基板1がエッチングされている。図示していないが、封止基板7にも光ファイバー挿入部11と重なる対応領域は光ファイバー径の半分の深さだけエッチングされており、封止基板7をSi基板1にかぶせた状態で、封止基板7が浮くことなく、光ファイバー10が挿入されるようになっている。光ファイバー挿入部11の側面に設けたひだ12は、挿入される光ファイバー10に食い込み、光ファイバー10が確実に固定されるように設けているものである。

【0022】次に、光学素子である回折格子4の詳細な構成について説明する。図3に、回折格子4の拡大図を示す。回折格子4は、Si基板1を垂直方向にエッチングして、ノコギリ歯状のパターンとして形成される。このノコギリ歯状のパターンの繰り返しピッチ、すなわちブレード間隔は1～5μmが好ましく、フォトダイオードアレイ5への光の分散要求値に応じて決められる。また、ノコギリ歯状パターンの向きは、面a、bのうち面積の大きな面、すなわちここではa面を、出力を最大にしたい波長光を受けるフォトダイオードの位置に向けるように形成するのが一般的である。

【0023】次に、光電変換素子のフォトダイオードアレイ5の詳細な構成について説明する。図4の（A）、（B）に、それぞれフォトダイオードアレイ部分の拡大図及び光導波路側から見たフォトダイオードアレイ5の態様を示す。図4の（A）、（B）において、13、14及び15はそれぞれ受光波長が異なるフォトダイオードであり、各フォトダイオード13、14、15は空間で分離されている。つまり、エア・アイソレーションとなっている。各フォトダイオード13、14、15の受光面13j、14j及び15jは、光導波路2の底面6に垂直に形成されている。13p、14p及び15pは、各フォトダイオード13、14、15からの電流出力を得るための電極パッドである。ここで、各フォトダイオード13、14、15の受光波長以外の光は、フォトダイオード間を通り抜け外部に排出されるので、所望の設定した波長の光のみを各フォトダイオード

13, 14, 15で受光することができる。

【0024】次に、図5を参照しながら、フォトダイオードの構造について説明する。図5は、図4の(B)のA-A'線に沿ったフォトダイオードの断面構造を示している。フォトダイオードは、Si基板上面より深さ方向に、P⁺拡散層17、N⁻エピタキシャル層18及びN⁺基板19により構成されている。20はフォトダイオードから出力電流を読み出すための電極パッドで、P⁺拡散層17に電氣的に接続されている。21は保護用のSi酸化膜、7は封止基板、22及び23はそれぞれ封止基板7及び光導波路2の表面に形成された金属反射膜、24は光導波路2内の光通過領域の空間である。

【0025】ここで、フォトダイオードにおける主な感度領域は、N⁻エピタキシャル層18であるため、P⁺拡散層17を浅く形成すると共に、N⁻エピタキシャル層18とN⁺基板19の界面位置を、光導波路表面に形成される金属反射膜23面とほぼ同じにして、N⁻エピタキシャル層18が光導波路2内の回折格子4による反射光に対して大きな面積で露出されるように構成することが、フォトダイオードの感度を上げることを可能にし、望ましい構成である。

【0026】続いて、上記実施の形態に係る分光光度計の製造方法について、図6の(A)～(G)に示す製造工程図を参照しながら簡単に説明する。図6の(A)において、Aの部分では光ファイバー挿入部から光導波路を通過して回折格子に至る部分を示し、Bの部分はフォトダイオードから光導波路を通過して回折格子に至る部分を示している。なお、本実施の形態に係る分光光度計は、以下に述べるように半導体技術を用いて製造するものである。

【0027】まず、図6の(A)に示すように、N型のSi基板31上にN⁻エピタキシャル層32を形成した基板上に、選択酸化により酸化膜を形成し、フォトダイオードの不活性領域以外にP⁺拡散層33を形成する。次に、図6の(B)に示すように、電気絶縁用のシリコン酸化膜34を再度形成した後に、シリコン酸化膜34にフォトダイオード用のコンタクトホール35をフォトリソグラフィにより形成する。次に、図6の(C)に示すように、フォトダイオードの配線及び電極パッド36をAlなどの金属により形成し、Si基板表面全面に電気絶縁用のシリコン酸化膜37を形成後、フォトダイオードの電極パッド用のスルーホール38をフォトリソグラフィにより形成する。ここで、Al金属膜はスパッタ法あるいは蒸着法により形成する。また、配線及び電極パッド金属としてAlを用いたものを示したが、これには限定されず、Cu、Ti、Auなどの金属あるいはTiNなどの金属化合物でもよい。

【0028】次に、図6の(D)に示すように、光導波路を形成するが、ここでは非光導波路部及びフォトダイオード部をレジスト39で覆って、光導波路部のSi基板

をエッチング除去すると同時に、回折格子部40の側面を垂直方向のノコギリ歯状にエッチングする。この時点で、分光光度計の主要構造である光入射スリット部(図示せず)、回折格子部40、フォトダイオードの受光面41

及び光導波路部の底面42が形成される。次に、図6の(E)に示すように、光ファイバー挿入部以外の部分をレジストで覆い、光ファイバー挿入部分のSi基板を光ファイバーの径の半分程度の深さまでエッチングし、光ファイバー挿入部43を形成する。次に、図6の(F)に示すように、光導波路部の底面42及び回折格子部40の側面に、Al金属膜44を反射膜として形成する。ここで、反射膜としてAlを用いているが、他の材料としてAuあるいはAgなどの金属膜を用いてもよいことは言うまでもない。金属膜はスパッタ法あるいは蒸着法により形成されるが、メッキによる形成が好ましい。

【0029】続いて、図6の(G)に示すように、別途作製された、一方の面にAl金属膜45が反射膜として形成され且つ光ファイバー挿入部46の形成された封止基板47を、Al金属膜45が形成された面が光導波路2に形成されたAl金属膜44面と対向するようにして接着し、光ファイバー挿入部43、46に光ファイバー48を挿入する。封止基板47としては、Si基板でもよいしプラスチックなどでもよい。また、反射金属膜はスパッタ法や蒸着法により形成されるが、ここではメッキによる形成が好ましい。このようにして分光光度計が完成する。

【0030】以上のように構成された分光光度計によれば、光入射スリット、光学素子である回折格子及び光電変換素子のフォトダイオードが、ローランドの円上に配置されるため、測定精度が向上する。また、半導体技術を用いて簡単に製造できると共に、光導波路、光入射スリット、回折格子及びフォトダイオードが一体で形成、すなわち1チップ化が可能となり、小型化できる。更に、光入射スリットから光電変換素子までが光導波路内に構成されるため、光の利用効率が向上し、小型化しても光電変換素子からの出力が損なわれることなく測定が可能となる。更に、光学部品間などの位置調整も不要となり、信頼性のある分光光度計が実現可能となる。

【0031】(第2の実施の形態) 次に、本発明に係る分光光度計の第2の実施の形態について説明する。本実施の形態は、フォトダイオードの構造が異なるのみで、他の構成は第1の実施の形態と同様である。そのため、フォトダイオードの構造のみについて説明する。図7に、本実施の形態に係る分光光度計のフォトダイオードの構造を示す。なお、図5に示した第1の実施の形態と同一の構成要素には同一符号を付して示している。フォトダイオードは、Si基板上面より深さ方向に、P⁺拡散層17、N⁻エピタキシャル層18、N⁺⁺埋め込み層51及びN⁺基板19により構成されている。20はフォトダイオードから出力電流を読み出すための電極パッドで、P⁺拡散層17に電氣的に接続されている。21は保護用のSi

酸化膜、7は封止基板、22及び23はそれぞれ封止基板7及び光導波路2の表面に形成された金属反射膜、24は光導波路2内の光通過領域の空間である。

【0032】ここで、フォトダイオードにおける主な感度領域は、N⁻エピタキシャル層18であるため、P⁺拡散層17を浅く形成すると共に、N⁻エピタキシャル層18とN⁺⁺埋め込み層51の界面位置を、光導波路表面に形成した金属反射膜23面とほぼ同じにして、N⁻エピタキシャル層18が光導波路2内の回折格子4による反射光に対して大きな面積で露出されるように構成することにより、フォトダイオードの感度を上げることを可能にし、望ましい構成となる。

【0033】このような構造のフォトダイオードは、第1の実施の形態で示した構造のフォトダイオードより、波長分解能が高くなっていることが実験結果より判明している。具体的には、受光波長 800nm±5nmのフォトダイオードを設計及び作製して波長分解能を測定したところ、第1の実施の形態の構造のフォトダイオードでは21nmであったのに対して、第2の実施の形態の構造のフォトダイオードでは15nmと、確実に波長分解能が向上していた。

【0034】これは、フォトダイオードの受光波長以外の波長の回折格子からの照射光がフォトダイオード間に照射されたとき、Si基板(N⁺基板19)中で発生した光キャリア、つまりここでは正孔が、第1の実施の形態の構造ではN⁻エピタキシャル層18に漏れ込んでしまい、受光波長以外の波長成分をフォトダイオードが受光して波長分解能を劣化するのに対し、本実施の形態では、N⁺⁺埋め込み層51が正孔のN⁻エピタキシャル層18への漏れ込みを防ぐために、波長分解能が向上するものである。以上説明したように、本実施の形態のフォトダイオードの構造によれば、波長分解能が一段と向上し、精度の良い測定が可能となる。

【0035】(第3の実施の形態)次に、本発明に係る分光光度計の第3の実施の形態について説明する。本実施の形態は、フォトダイオードの構造が異なるのみで、他の構成は第1の実施の形態と同様である。そのため、フォトダイオードの構造のみについて説明する。図8に、本実施の形態に係る分光光度計のフォトダイオードの構造を示す。なお、図5に示した第1の実施の形態と同一構成要素には同一符号を付して示している。図8に示すように、本実施の形態では、基本的なフォトダイオードの構造は第1の実施の形態と同様であり、第1の実施の形態と大きく異なる点は、P⁺拡散層が受光面を覆うように形成されている点である。すなわち、P⁺拡散層52がSi基板表面側のみならず、光が照射されてフォトダイオードの感度領域となるN⁻エピタキシャル層18の露出した部分、つまり側面側にも形成されている。更に、光が照射される側面に形成されたP⁺拡散層52上には、例えば、Si窒化膜とSi酸化膜の2層で構成され

る反射防止膜53が形成されている。

【0036】このようなフォトダイオードの構造により、第1の実施の形態の構造に比べて感度、特に短波長側の感度を改善できる。これは、次のような理由による。N⁻エピタキシャル層をある程度以上に大きくすると、第1の実施の形態のフォトダイオードの構造では、P⁺拡散層17からN⁻エピタキシャル層18へ延びる空乏層が、N⁻エピタキシャル層全面にわたっては延びきらず、N⁻エピタキシャル層内のP⁺拡散層17から離れた位置で発生した光キャリアは、空乏層内に引き込まれることはなく、消滅する場合がある。つまり、光キャリアが発生しても、電流出力に寄与することはない。特に、紫外光や青色光などの短波長に対して顕著である。これは、短波長光に対してはSi基板の吸収が大きいこと、並びに光発生キャリアが元来少ないことにより、たとえ光導波路幅を拡げて扱う光量を大きくしたとしても、出力電流を大きくできないためである。しかしながら、本実施の形態のフォトダイオードの構造では、受光面にP⁺拡散層を形成することにより、図8に点線で示すように空乏層を拡げ、受光部表面付近での光発生キャリアの収集能力を大きくして、短波長側の感度を向上するものである。

【0037】なお、本実施の形態では、第1の実施の形態のフォトダイオードへ適用したものを説明したが、本実施の形態は第2の実施の形態のフォトダイオードにも適用できることは言うまでもない。

【0038】(第4の実施の形態)次に、第4の実施の形態について説明する。本実施の形態では、光入射スリットと光ファイバー挿入部の間に光学レンズを形成した構成のものである。図9の(A)、(B)に、それぞれ本実施の形態に係る分光光度計の平面図、及び光入射スリット付近の斜視図を示す。図9の(A)、(B)において、3は光入射スリット、11は光ファイバー挿入部で、光入射スリット3と光ファイバー挿入部11との間に光学レンズ54を形成する。この光学レンズ54は、Si基板を酸化してガラス化した一体型のレンズで、凸レンズあるいは凹レンズに限定されず、種々のレンズが形成可能である。

【0039】次に、この光学レンズの製造方法を簡単に説明する。図10の(A)、(B)に光学レンズの製造方法の工程図を示す。まず、図10の(A)に示すように、Si基板55を所望のレンズ形状に加工する。ここでの加工は、光導波路の加工時に同時にエッチングなどを行って加工すればよい。次に、Si基板を熱酸化して、SiからSiO₂に化学変化させることにより、光学レンズ56を作製する。

【0040】このように、レンズをSi加工と熱酸化で作製する方法は簡便な方法であるが、レンズ全体を熱酸化するには長時間を要するため、レンズ厚が2μm程度までに限られる。2μm程度の厚みのレンズであれば、

12〜24時間で酸化が完了し、レンズが作製できる。しかしながら、このようなレンズの製造方法では、光線を大きく屈折させるレンズを作製することが困難であり、必然的に小曲率レンズの多群構成の光学系となるため、レンズ構成に大きなスペースを要すると共に、レンズ間の反射による迷光を生じる恐れがある。

【0041】次に、これらの不具合を解消する製造方法について、図11の(A)、(B)を参照しながら説明する。まず図11の(A)に示すように、レンズの外形状に沿ったレンズ枠57をSi加工で形成し、熱酸化して、これをガラス化する。続いて図11の(B)に示すように、レンズ枠57で囲まれた内側58に透明液状物59を流し込み封入して、レンズ枠57と合わせて光学レンズを形成する。なお、透明液状物59には透明接着剤が適しており、封入後硬化すれば液漏れの心配がないので、信頼性の高いレンズを作製できる。

【0042】このように光学レンズを光ファイバー挿入部11と光入射スリット3間に挿入することにより、光ファイバーから抜がって出射される入射光が光学レンズにより集光されるため、光入射スリット3から回折格子4へと出射される入射光の照射角が小さくなり、回折格子が受光・反射する面積を小さくでき、そのために分光光度計のより小型化が可能となる。

【0043】なお、本実施の形態では、Si基板を酸化して光学レンズを形成したものを示したが、光学レンズ挿入位置に光学レンズ挿入用の孔などを形成しておき、そこに別に作製した光学レンズを挿入・配置してもよい。この場合には、Si基板を酸化して光学レンズを作製する場合に比べて、使用可能なレンズの種類が増える。また、本実施の形態では、光学レンズの形成位置を光入射スリットと光ファイバー挿入部との間に設けたものを示したが、これに限定されることはなく、光入射スリットよりフォトダイオード側の位置に光学レンズを設けてもよいことは言うまでもない。更に、本実施の形態では光学レンズを挿入したものについて説明したが、同様な手順によりプリズム等の光学素子も作製可能である。

【0044】(第5の実施の形態) 次に、第5の実施の形態について説明する。本実施の形態は、回折格子を用いずに、他の光学素子を回折格子の代わりに用いた分光光度計に関するもので、図12にその構成を示す。基本的な構成は他の実施の形態と同様のため、異なる点についてのみ説明する。図12において、61は光学レンズ、62はプリズム、63はミラーであり、回折格子の代わりに、これらの光学素子が設けられている。ここで、光学レンズ61及びプリズム62は光導波路2内に、ミラー63は光導波路2の内側の端面に配置、形成されている。他の構成及び構造は、他の実施の形態と同様であり同一の符号を付して示している。ここでは、光ファイバー10から光入射スリット3を通して照射される光は、光学レンズ61によ

り集光されてプリズム62に入射され、プリズム62及びミラー63によって光学的な演算、すなわち反射・分光されてフォトダイオードアレイ5に入射する。フォトダイオードアレイ5から得られた信号は、外部に設けられたアンプ及び信号処理回路などにより信号処理される。なお、本実施の形態では、光学レンズ、プリズム及びミラーの個数及び配置位置が重要となる。このようにして、回折格子を用いない分光光度計が完成する。ここで、光学レンズ、プリズム及びミラーの光学素子は、光導波路や光電変換素子と一体形成も可能である。

【0045】このような構成による分光光度計によれば、回折格子のブレードのような微細な加工が不要となるため作製が容易となる。また、複数の光学素子を組み合わせることで配置することができるため、色収差を小さくできるなど光学特性を向上させた分光光度計が実現できる。

【0046】

【発明の効果】以上実施の形態に基づいて説明したように、請求項1に係る発明によれば、位置調整が不要で簡単に小型化が可能であると共に、測定精度の良い信頼性のある分光光度計を実現することができる。また請求項2に係る発明によれば、回折格子と光入射スリットと光電変換素子とをローランド円上に配置することができ、スペクトル像が結像しやすくなり測定精度を更に向上させることができる。また請求項3に係る発明によれば、複数の素子を組み合わせることで光学素子を構成していることで、色収差を小さくするなどの光学特性を向上させることができる。また請求項4に係る発明によれば、光導波路を空間を反射部材で挟んだ構造としているので、光導波路内での光の吸収がなく光の利用効率を向上させ、特に短波長側での感度を向上させることができる。請求項5〜8に係る発明によれば、光電変換素子としてフォトダイオードアレイを用いているので、構造及び製造方法が簡単な上に波長分解能が向上し、高感度で精度の良い測定が可能となる。また請求項9に係る発明によれば、半導体技術を用いて1チップ化が可能となり、製造方法が容易で測定精度が高く且つ位置調整が不要で小型化が可能であり、更に信頼性のある分光光度計を実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る分光光度計の第1の実施の形態を示す分解斜視図である。

【図2】図1に示した第1の実施の形態における光入射部の拡大斜視図である。

【図3】第1の実施の形態における回折格子の拡大斜視図である。

【図4】第1の実施の形態におけるフォトダイオードアレイの拡大斜視図である。

【図5】図4に示したフォトダイオードのA-A'線に沿った断面図である。

【図6】図1に示した第1の実施の形態に係る分光光度計の製造方法を説明するための製造工程図である。

【図7】第2の実施の形態に係る分光光度計のフォトダイオード部分を示す断面図である。

【図8】第3の実施の形態に係る分光光度計のフォトダイオード部分を示す断面図である。

【図9】第4の実施の形態に係る分光光度計の光入射スリット近傍を示す斜視図である。

【図10】図9に示した第4の実施の形態における光学レンズの製造方法を説明するための製造工程図である。

【図11】図9に示した第4の実施の形態における光学レンズの他の製造方法を説明するための製造工程図である。

【図12】第5の実施の形態に係る分光光度計を示す分解斜視図である。

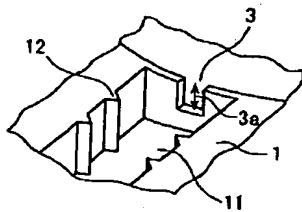
【図13】従来の分光光度計の配置構成例を示す図である。

【符号の説明】

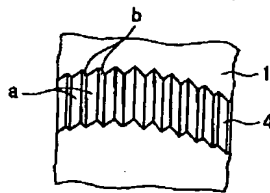
- 1 Si 基板
- 2 光導波路
- 3 光入射スリット
- 4 回折格子
- 5 フォトダイオードアレイ
- 6 光導波路底面
- 7 封止基板
- 8 反射膜
- 9 入射光
- 10 光ファイバー
- 11 光ファイバー挿入部
- 12 ひだ
- 13, 14, 15 フォトダイオード
- 13j, 14j, 15j 受光面
- 13p, 14p, 15p 電極パッド

- 17 P⁺ 拡散層
- 18 N⁻ エピタキシャル層
- 19 N⁺ 基板
- 20 電極パッド
- 05 21 Si 酸化膜
- 22, 23 金属反射膜
- 24 光導波路内空間
- 31 Si 基板
- 32 N⁻ エピタキシャル層
- 10 33 P⁺ 拡散層
- 34, 37 シリコン酸化膜
- 35 コンタクトホール
- 36 電極パッド
- 38 電極パッド用スルーホール
- 15 39 レジスト
- 40 回折格子部
- 41 フォトダイオード受光面
- 42 光導波路底面
- 43, 46 光ファイバー挿入部
- 20 44, 45 Al 金属膜
- 47 封止基板
- 48 光ファイバー
- 51 N⁺ 埋め込み層
- 52 P⁺ 拡散層
- 25 54 光学レンズ
- 55 Si 基板
- 56 光学レンズ
- 57 レンズ枠
- 58 レンズ枠内側
- 30 59 透明液状物
- 61 光学レンズ
- 62 プリズム
- 63 ミラー

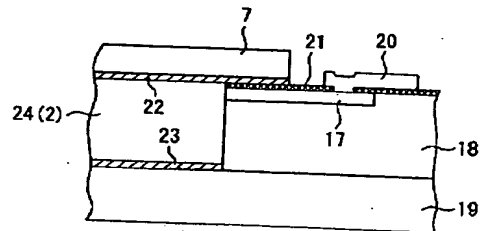
【図2】



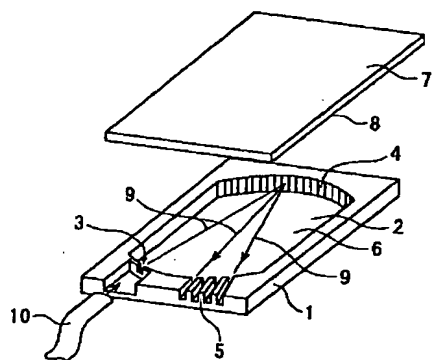
【図3】



【図5】

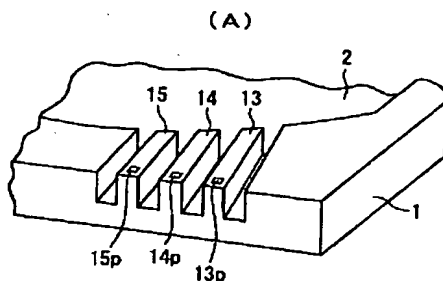


【図 1】

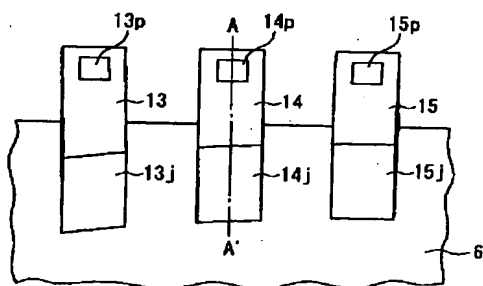


- 1: Si 基板
- 2: 光導波路
- 3: 光入射スリット
- 4: 回折格子
- 5: フォトダイオードアレイ
- 6: 光導波路端面
- 7: 封止基板
- 8: 反射膜
- 9: 入射光
- 10: 光ファイバー

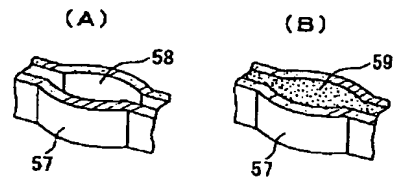
【図4】



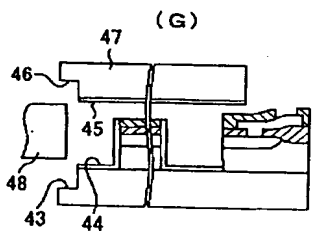
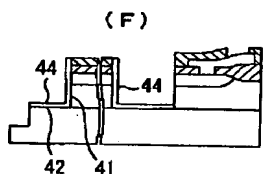
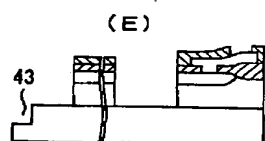
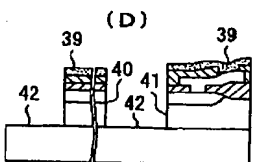
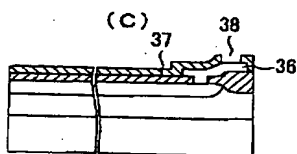
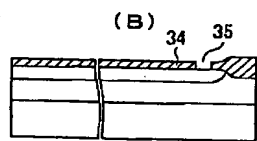
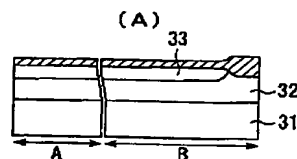
(B)



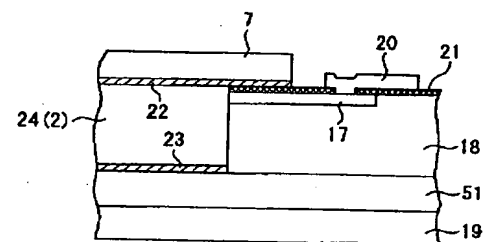
【図 1 1】



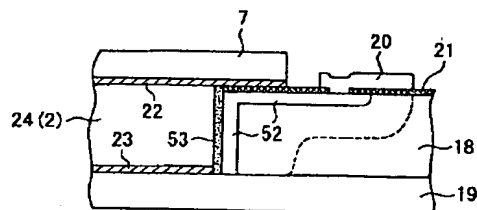
【図6】



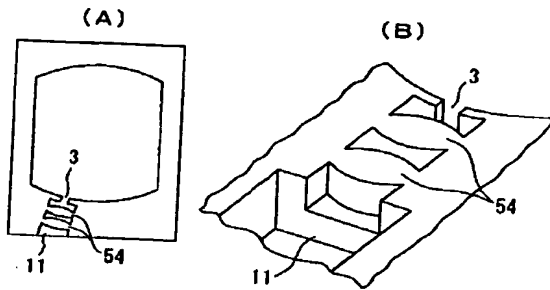
【図 7】



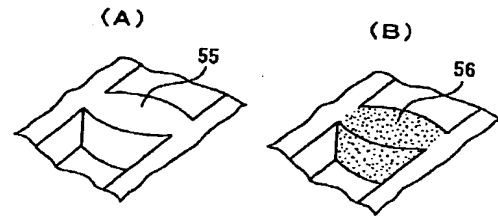
【図 8】



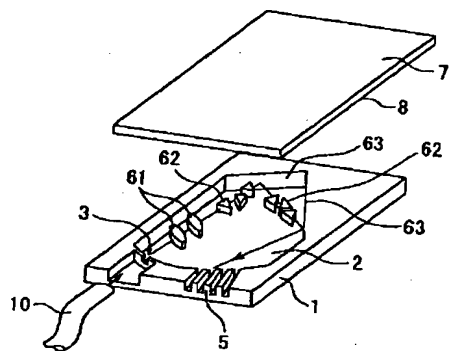
【図9】



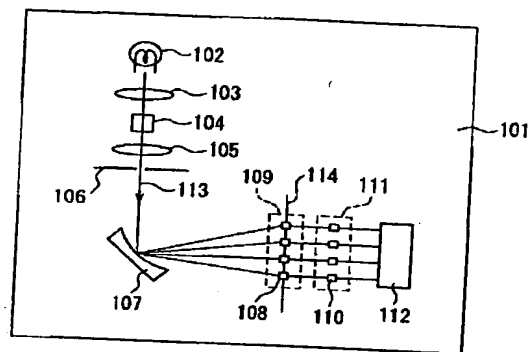
【図10】



【図12】



【図13】



フロントページの続き

(51) Int. Cl. 7

識別記号

G 0 2 B 5/04

5/18

// H 0 1 L 31/10

F I

G 0 2 B 5/04

5/18

H 0 1 L 31/10

テーマコード(参考)

C

A

Fターム(参考) 2G020 CB04 CC05 CC11 CC13 CC15
CC42 CC63 CD06 CD24 CD33
2H042 CA07 CA12 CA17
2H049 AA06 AA18 AA37 AA44 AA48
AA58 AA64 AA68
5F049 MA02 MB02 NA10 NA19 NB07
PA14 RA02 RA10 SS03 SZ13
SZ16 TA11 TA20